



Foton – nové vyjasni starého pojmu

Kragh, Helge Stjernholm

Published in:
Cesoslovenky Casopis pro Fyziku

Publication date:
2020

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Kragh, H. S. (2020). Foton – nové vyjasni starého pojmu. *Cesoslovenky Casopis pro Fyziku*, 70, 173-179.
<https://ccf.fzu.cz>

Foton – nové vyjasnění starého pojmu¹

Helge S. Kragh

Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Blegdamsvej 17, 2100 Kodaň; helge.kragh@nbi.ku.dk

Kdy se objevil termín „foton“ a v jakém kontextu? O tom pojednává tento článek významného dánského historika fyziky H. S. Kragha. Obecně se soudí, že za „foton“ vděčíme slavnému americkému chemikovi G. N. Lewisovi, který tento termín stvořil roku 1926. Je to pravda, ale Kragh ukazuje jednak, že to bylo v jiném kontextu, než jak chápeme foton dnes, jednak, že několik jiných badatelů navrhlo a použilo termín foton již před Lewisem – na ně se však zapomnělo. Nakonec tedy můžeme konstatovat, že „foton“ se zrodil několikrát v období deseti let zhruba před sto lety. (jv)

Úvod

Od konce 20. let 20. století chápali fyzikové termín „foton“ jako synonymum pro kvantum, které Einstein zavedl roku 1905. Ačkoliv se termín „světelné kvantum“ stále používá, je dnes mnohem běžnější mluvit o „fotonu“. Jméno je odvozeno z řeckého φῶτο [foto] – světlo a koncovky „-on“, která naznačuje, že foton patří do skupiny elementárních částic jako proton, elektron či neutron. Popularita tohoto pojmu je ilustrována vy-

hledáním slov „foton“ nebo „fotony“ v Google Scholar, které vygenerovalo 14,2 milionu záznamů. Nejenže je slovo univerzálně přijato fyziky, chemiky a inženýry, ale také našlo uplatnění v obchodním a kulturním světě.² Existují dokonce i básně věnované této nejběžnější částici ve vesmíru.

Tento článek se nezabývá významem a vlastnostmi fotonu, ale pouze původem jeho jména a počáteční odezvou v období let 1927–1932. Téměř ve všech pramenech najdeme, že termín „foton“ byl prvně navržen americkým chemikem a fyzikem G. N. Lewisem v roce 1926, i když ve významu odlišném od světelného kvanta. Je v tom kus pravdy, ale ne celá. Je těžké přesně určit, kdy byl termín „foton“ poprvé použit ve vědeckém kontextu, ale můžeme doložit, že se objevil již v roce 1916 – deset let před Lewisem. Tato raná historie měla malý či téměř zanedbatelný význam pro pozdější vývoj, takže není divu, že se jí nikdo moc nevěnoval. Přesto stojí historie prvního výskytu termínu „foton“ v kontextu vědy o vidění a fyziologie za pozornost.

Einsteinovo světelné kvantum

Původ a prvotní vývoj ideje fotonu ve významu lokalizovaného kvanta elektromagnetického záření je dobře znám a byl popsán v rozsáhlé literatuře, např. [1, 2, 3]. Pro shrnutí, ve svém klasickém článku publikovaném v *Annalen der Physik* roku 1905 navrhl Einstein, že monochromatické záření o frekvenci ν je tvořeno „kvanty energie“ o energii $E = h\nu$ (což je vyjádření, které Einstein použil až v následujícím roce). Ačkoliv mohl Einstein tímto způsobem snadno vysvětlit fotoelektrický jev a Stokesovo pravidlo pro fotoluminiscenci, setkala se tato „*Lichtquantenhypothese*“ s obecným odporem většiny fyziků.

Odezva na „světelné kvantum“ se příliš nezměnila ani poté, co Einstein roku 1917 „dal“ tomuto kvantu

¹ Některé části tohoto článku byly publikovány jako součást rozsáhlejší práce – H. Kragh: „The names of physics: plasma, fission, photon“, *Eur. Phys. J. H.* **39**, 263–281 (2014). Přeložil J. Valenta s laskavým svolením autora. Děkujeme Dr. Kapsovi za upozornění na tento článek.



Gilbert N. Lewis

² Pozn. překladatele: Existují různé odvozené termíny od *fotonu*, např. velmi používané označení oboru světelných technologií jako „*fotonika*“ navrhl roku 1967 francouzský fyzik Pierre Aigrain.



„ V letech 1925–1926 už byla kvanta záření obecně přijata a chápána jako elementární částice, neméně skutečné jako elektron a proton. “

hybnost $p = h\nu/c$. Až tehdy vlastně získalo jeho kvantum vlastnosti skutečné částice – proto třeba Abraham Pais [2] datuje existenci Einsteinova „fotonu“ až od roku 1917. Ovšem Einstein nepoužíval termín „foton“ ani v této době, ani v pozdějších publikacích.

Hlavním důvodem přijetí světelného kvanta v letech 1922–1925 byla fenomenální série experimentů s rozptylem rentgenového záření *Arthura H. Comptona*, provedená koncem roku 1922 (za niž obdržel Nobelovu cenu roku 1927) [4]. Mimochodem, ve svých dvou článcích z roku 1923 (jeden ve *Physical Review*, druhý ve *Philosophical Magazine*) popisujících výsledky toho, co vešlo ve známost jako Comptonův rozptyl, Compton necitoval Einsteinova světelná kvanta ani Einsteinovo jméno. Přesto tyto experimenty potvrdily Einsteinovu teorii a staly se milníkem. V letech 1925–1926 už byla kvanta záření obecně přijata a chápána jako elementární částice, neméně skutečné jako elektron a proton. S příchodem kvantové teorie záření vyvinuté brzy poté Paulem Diracem a Pascuaelem Jordanem, se stala světelná kvanta součástí teorie kvantové mechaniky. Jako nepostradatelná entita se pak začaly nazývat fotony.

Úspěšné pojmenování, neúspěšný koncept

Původcem pojmenování „foton“, které proniklo do fyzikálního slovníku koncem 20. let, byl *Gilbert Newton Lewis* (1875–1946), profesor na Kalifornské univerzitě v Berkeley (obr. 1). Zatímco vlastní termín z roku 1926 byl široce přijat, Lewisův koncept stojící za tímto označením nikdo neznal (s výjimkou několika historiků vědy). Lewis byl uznávaný fyzikální chemik, který se proslavil průkopnickými pracemi v oblastech chemické termodynamiky a struktury atomů a molekul [5, 6]. Jeho teorie o sdíleném páru elektronů tvořícím kovalentní vazbu je chápána jako předzvěst pozdějšího valenčního modelu kvantové chemie [7].

Kromě vynikající práce v chemii se Lewis také hluboce zajímal o teoretickou fyziku, ačkoliv v této oblasti obvykle sledoval své poněkud „neortodoxní“ myšlenky, nikoliv ty „mainstreamové“. V roce 1925 se začal zajímat o zásadní problémy teorie záření, které se pokoušel řešit základním postulátem, že čas je symetrický. Podle Lewisovy představy o zářivých procesech měla emise a absorpce světla probíhat zcela symetricky. „*Atom emituje světlo pouze pro další atom,*“ na-

psal. „*Je absurdní si představovat světlo emitované jedním atomem bez existence přijímajícího atomu, stejně jako představovat si absorpci světla bez existence světla, které je absorbováno*“ [8, 9]. Emisní proces by pak byl přesně opačný než absorpce, takže tyto dva procesy by bylo možné sloučit do jediného. V tomto kontextu Lewis ve svém článku v časopise *Nature* z 29. října 1926 navrhl, že místo světelného kvanta by se měl jako nosič světla uvážit „nový druh atomu“, který nazval „foton“ [10].

Na rozdíl od Einsteinových světelných kvant se Lewisovy fotony zachovávají, tedy v izolovaném systému je počet fotonů konstantní. Tyto fotony jsou nestvořitelné a nezničitelné, podobně jako nezměnitelné atomy Johna Daltona z počátku 19. století [11]. Zaměňte „částici vodíku“ za „foton“ a dostanete Lewisovo tvrzení. Lewis dále argumentoval, že „*jeden, právě jeden, foton ubude v každém elementárním vyzařovacím procesu*“ a napsal [10] :

„*Bylo by nepatřičné mluvit o tomto hypotetickém objektu jako o částici světla, světelném kvantu či jednotce světla, když uvážíme, že jako nosič světla tráví pouze malý zlomek své existence, zatímco po zbytek času zůstává jako důležitý strukturní element uvnitř atomu. Bylo by také zmatečné nazývat ho toliko kvantum, jelikož ... bude nezbytné odlišit počet těchto jednotek přítomných v atomu od tzv. kvantového čísla. Proto si dovoluji navrhnout pro tento hypotetický nový atom, který není světlem, ale hraje zásadní roli při každém zářivém procesu, jméno foton.*“

Lewisův foton tedy byl velmi odlišný od částice zářivé energie, kterou zavedl Einstein. Je tedy nesprávné psát „*Einsteinovo fundamentální světelné kvantum, které Gilbert N. Lewis pokřtil 'foton' v říjnu 1926*“ [12].

V několika dalších článcích se Lewis, který pochopil, že jeho foton je značně nekonvenční a hypotetický, snažil hájit svou hypotézu poukazem na to, že jeho základní představa přímé interakce vedla ke správnému popisu záření dokonale černého tělesa [9]. Nikdo mu však nenaslouchal, takže během asi roku, jak se zdá, v tichu opustil svou neortodoxní myšlenku. Za více než 40 let byl jeho článek z *Nature* citován ve vědeckých časopisech pouze dvakrát – v obou případech v roce 1927, a to vždy autorem samým. Později byl článek citován až roku 1970 v historickém přehledu o jménech částic ve fyzice [13] a o čtyři roky dříve jej zmínil Max Jammer ve své zásadní monografii o historii kvantové mechaniky [14].

Roku 1927 William Band, fyzik na univerzitě v Liverpoolu, referoval kriticky o Lewisově teorii „emise a absorpce fotonů“. Nicméně uvedl referenci, která se týkala dřívějšího článku, jenž neobsahoval pojem foton [15].

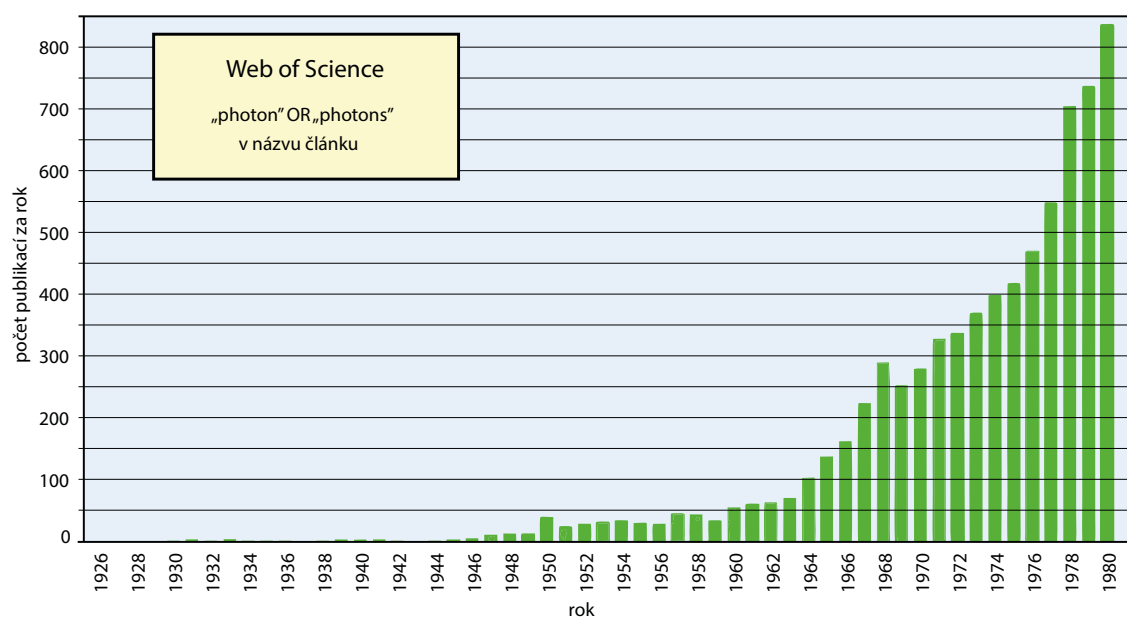
Francouzská epizoda

Více než dva roky před publikací Lewisova článku v *Nature* francouzský biochemik a fyziolog *René Wurmster* (1890–1993) použil pojem „foton“. V té době byl dobře obeznámen s teorií fotochemických reakcí z pohledu hypotézy světelných kvant. Toto téma zkoumal Einstein ve své práci z roku 1912 a Wurmster, ve spolupráci s Victorem Henrim, brzy ověřil Einsteinův předpoklad, že jediné světelné kvantum o vhodné energii stačí k iniciaci fotochemické reakce [16].

V září 1924 Wurmster poslal do časopisu *Annales de Physiologie* rukopis, v němž popisoval výzkum



Obr. 1 Gilbert N. Lewis ve své laboratoři 1944.



Obr. 2 Vzestup fotonu. Počet článků publikovaných anglicky v letech 1924–1980 s termínem „foton“ nebo „fotony“ [photon, photons] v názvu. Celkový počet je 7 325. Zdroj: Web of Science. Nizký počet článků v letech 1936–1945 je zřejmě způsoben vlivem 2. světové války na akademický výzkum. Uživatelé Web of Science a podobných databází by si měli uvědomit fakt, že některé názvy se objevují v anglickém překladu (a tedy často s chybami). Vyhledávání slova „photons“ v názvu tak najde i několik článků z doby před rokem 1926, prostě proto, že německý termín Lichtquanten (nebo francouzský quanta de lumière) se objevují v modernizovaném překladu jako fotony. [Pozn. překladatele: Vyhledávání provedené v květnu 2020 ve WoS databázi SCI-Expanded (od roku 1945) dává celkem 69 356 článků; v posledních třech letech téměř konstantně kolem 2 760 za rok.]

fotochemických reakcí souvisejících s rolí chlorofylu ve fotosyntéze. Zde zpochybnil převládající názor, že produkce kyslíku ve fotosyntéze vychází z působení světla na oxid uhličitý. Aby vysvětlil své výsledky, odvolával se na ideu přenosu energie molekulárními rezonancemi, kterou navrhl jeho krajan, fyzikální chemik a nobelovský laureát Jean Perrin [17]. Podle Wurmstera je třeba předpokládat, že aktivace molekul, ve smyslu Perrinově, vyžaduje integrální absorpci různého počtu fotonů [18, 19].

Kromě spojení fotonu s energií $h\nu$ Wurmster pojem dále nevysvětlil a použil jej pouze jednou. Prostě se tam objevil a zřejmě nikoho nezaujal. Wurmster pak dosáhl skvělé kariéry v biofyzice a novém oboru molekulární biologie. Ve věku 97 let referoval o svém starém článku s poznámkou, že obsahoval několik zajímavých úvah [20]. Pojem „foton“ mezi nimi nebyl.

Velmi málo se ví o francouzském fyzikovi Frithiofowi Wolfersovi (asi 1890–1971), který si zřejmě změnil křestní jméno na Fred a podepisoval své četné články jednoduše „F. Wolfers“. Přibližně v letech 1920 až 1940 pracoval na univerzitě v Alžíru, než byl jmenován profesorem fyziky v Paříži. Byl plodným autorem knih a článků se zaměřením na optiku, termoelektrinu, piezoelektrinu a rentgenové záření. Ve dvacátých letech, kdy částečně pracoval v laboratoři Marie Curie v Paříži, provedl rozsáhlé experimenty s difrakcí a difuzí rentgenových paprsků. Roku 1929 publikoval knihu o jaderné fyzice a transmutaci prvků, ke které napsal předmluvu Jean Perrin [21].

Když Compton oznámil svůj objev efektu, který byl po něm pojmenován, Wolfers nebyl spokojen s jeho vysvětlením za použití světelných kvant [22, 23]. Ze svých vlastních experimentů pak došel k závěru, že pozorované jevy představují *experimentum crucis* k podpoře tzv. Bohrovy–Kramersovy–Slaterovy (BKS) teorie navržené Nielsem Bohrem a spolupracovníky Hendrikem Kramerssem a Johnem Slaterem roku 1924. „Moje

experimenty zcela potvrzují Bohrovu hypotézu,“ napsal [24, 25]. Fyzikové v Kodani však zřejmě o Wolfersově tvrzení ohledně potvrzení jejich hypotézy nevěděli.

Jelikož byla teorie BKS navržena jako alternativa k Einsteinově (a Comptonově) teorii světelných kvant pro oblast interakce záření s hmotou, není překvapivé, že Wolfers (v článku prezentovaném ve Francouzské akademii věd prostřednictvím Aimého Cottona 26. června 1926) zavedl pojem „foton“ pro to, co také nazýval světelným kvantem nebo „atomem světla“:

„Budu používat jméno ‚fotony‘ pro projektily, které pravděpodobně přenášejí zářivou energii a mají charakter periodické frekvence v (atomy světla). Dále navrhuji, že fotony mohou být odpuzovány atomy látky, když prolétají blízko ... Lze si představit, že toto odpuzování je důsledkem jistého druhu rezonance mezi fotony a rezonátory ...“

Podobně jako Wurmster, ale v jiném kontextu, se Wolfers domníval, že jeho hypotéza souvisí s Perrinovou ideou molekulární rezonance či jak ji nazýval *induction moléculaire*. O svých experimentech a hypotézách publikoval během let několik článků, ale k termínu „foton“ se vrátil až roku 1928. Jeho článek z roku 1926, kde zavedl pojem „foton“ několik měsíců před Lewisem, zůstal nepovšimnut, stejně jako ten Wurmsterův. Web of Science neuvádí žádnou citaci tohoto článku. Na druhé straně, Wolfersova práce mohla být široce známa ve francouzské fyzikální komunitě. Nebyl to nikdo jiný než sám Louis de Broglie, kdo ve své slavné disertační práci z roku 1924, která znamenala počátek vlnové mechaniky, odkazoval na Wolfersa [26].

Příhodné jméno

Zatímco Lewisův koncept fotonu byl rychle zapomenut, jeho a Wolfersův termín nikoliv. „Foton“ byl rychle a bez ovací přijat jako alternativní jméno pro Einsteino-vo světelné kvantum a od poloviny 30. let už byl preferovaným termínem. Obr. 2 a tabulka 1 uvádějící počty

„Není známo, zda se Einsteinovi, otci světelného kvanta, pojem líbil, nebo ne, nicméně jej nepoužíval.“

vědeckých prací zmiňujících *photon(s)* a *light quantum (quanta)* dávají představu o popularitě termínu navrženého Wolfersem a Lewisem.

Již roku 1928 se objevuje „foton“ v názvu sborníku slavné Solvayovy konference z října 1927 *Electrons et Photons*. Příprava konference začala v dubnu 1926, tedy předtím než Wolfer a Lewis navrhli tento název, a v předkonferenčních materiálech byste hledali zmínku o „fotonech“ marně [27]. Pravděpodobně se daný termín dostal do názvu až v poslední fázi přípravy sborníku jako odraz toho, že mnoho řečníků a diskutérů použilo „fotony“ spíše než „světelná kvanta“ ve svých příspěvcích. Mezi nimi byli H. A. Lorentz, Louis de Broglie, Paul Dirac, Léon Brillouin, Paul Ehrenfest a Arthur Compton. Pouze poslední z nich věnoval pozornost původu tohoto nového termínu [28, 29]:

„Při odkazování na tento prvek záření budu používat jméno ‚foton‘ nedávno navržený G. N. Lewisem. Toto slovo vylučuje všechny odvozené významy, které jsou obsaženy například v termínu ‚jehlička paprsku‘ [needle ray]. Ve srovnání s termínem ‚kvantum záření‘ nebo ‚světelné kvantum‘ má tento termín výhodu krátkosti a absence implicitní vazby na mnohem obecnější kvantovou mechaniku či kvantovou teorii atomové struktury.“

Ačkoliv byl Lewisův foton zmíněn pouze Comptonem, jeho časově-symetrická teorie světla byla diskutována Brillouinem, který argumentoval, že jisté fotonové paradoxy předložené Lewisem by zmizely s de Broglieho pojetím „trajektorie fotonu“ [27]. Brillouin a de Broglie byli pravděpodobně obeznámeni s Wolferovým fotonem, ale nezmiňovali se o něm. Na druhou stranu ve sborníku Solvayovy konference referoval belgický fyzik *Théophile de Donder* o Wolferových experimentech, na které upozornil Brillouin [27].

Compton od počátku prosazoval nový termín, někdy způsobem, který vzbuzoval dojem, že je to jeho, a ne Lewisův vynález (pravděpodobně neznal Wolferův návrh). Tak ve své nobelovské přednášce 12. pro-



Obr. 3 Leonard Troland

<https://ccf.fzu.cz>

	1926–35	1936–45	1946–55
Light quantum (quanta)	20	0	5
Photon(s)	19	29	243

Tab. 1 Počty vědeckých prací obsahujících v názvu spojení „light quantum/quanta“ nebo „photon/photons“ podle databáze Web of Science.

since 1927 mluvil o rentgenových paprscích jako o „světelných částicích, kvantech nebo, jak bychom je mohli nazvat, fotonech“ [30]. Compton také může být odpovědný za rozšíření termínu do populárně-vědecké literatury. V článku publikovaném v *Scientific American* v únoru 1929 psal o rentgenových paprscích, že jsou složeny z „fotonů“, a zdůraznil novost jména vložním do uvozovek. Tuto novou částici světla cenil hodně vysoko: „Světlo, které umožňuje rostlinám růst a které nám přináší teplo, má dvojakou podobu vln a částic a bylo odhaleno, že je tvořeno fotony. Jako výsledek dosavadní analýzy vesmíru jsme tak dostali tři složky – proton, elektron a foton. A jednoho to svádí dodat, že nejúžasnější z nich je foton, protože to je život atomu“ [31].

„Fotony“ se rozšířily mezi mladšími generacemi fyziků prostřednictvím raných učebnic kvantové mechaniky. První dvě učebnice publikovali roku 1928 fyzici George Birtwistle v Cambridgi a Arthur Erich Haas ve Vídni. Zatímco Birtwistle [32] se vyhnul novému termínu a zůstal u „světelného kvanta“, Haas používal oba pojmy. Na začátku své knihy uvádí „atomy záření, které jsou v současnosti obecně nazývány světelná kvanta nebo, zcela nově, fotony“ [33]. Kniha *The Theory of Groups and Quantum Mechanics* od Hermana Weyla byla překladem z německého originálu vydaného 1929. V anglickém vydání Weyl [34] záhy zmiňuje Einsteinovu představu „světelných kvant neboli fotonů“, čímž pokládá mezi oba koncepty rovnítko. Ve zbytku knihy používá „fotony“.

Ještě větší vliv mělo klasické Diracovo dílo *Principles of Quantum Mechanics*, které přímo začíná popisem světla složeného z „malých částic, které nazýváme fotony“ [35]. Konzistentně pak používá pojmenování „foton“, aniž by zmínil „světelná kvanta“ nebo velmi nedávny vznik pojmu „foton“. Není známo, zda se Einsteinovi, otci světelného kvanta, pojem líbil, nebo ne, nicméně jej nepoužíval.

Neznámá geneze „fotonu“

Aniž by o tom Lewis a s ním skoro všichni tehdejší fyzikové věděli, lze nalézt slovo „foton“ ve vědecké literatuře již roku 1916. Termín byl vytvořen americkým fyzikem a psychologem *Leonardem Thompsonem Trolandem* (1889–1932), který jej používal pro označení jednotky osvětlení retiny. I když je dnes málo známý, a když už, tak pro svou práci v experimentální psychologii, byl Troland ve své době považován za jednoho z nejnadějnějších amerických vědců. Když pak tragicky zahynul roku 1932 pádem z vrcholu hory Mount Wilson v Kalifornii, byla jeho smrt oplakávána v nekrologu časopisu *Science* [sv. 76, s. 26–27] a *American Journal of Psychology* [sv. 44, s. 817–820].

Všestranný a respektovaný vědec Troland rozvíjel paralelní kariéry v psychologii, fyzice a inženýrství. S Danielem Comstockem, fyzikem na MIT, publikoval roku 1917 polopopulární knihu o moderní teorii atomů, elektřiny a záření. Kapitola o kvantové teorii

Journal of Experimental Psychology

VOL. II, No. 1.

FEBRUARY, 1917

ON THE MEASUREMENT OF VISUAL STIMULATION INTENSITIES

BY LEONARD T. TROLAND

Nela Research Laboratory, National Lamp Works of General Electric Company,
Nela Park, Cleveland, O.

I. INTRODUCTION

It must probably be admitted that there are few fields of science in which definite quantitative results are obtainable, which have been more carelessly cultivated than that of visual psycho-physiology. The literature of visual research is truly monumental, the ascertained qualitative facts are legion, and yet the laws of vision are few and vague.

In an extensive monograph on the laws of color adaptation, yet to be published, the present writer has expressed his intensity measures throughout in terms of a unit involving the pupillary area, and has proposed that this unit, called the *photon*, be adopted as the standard means of specifying the photometric intensity of visual stimulation conditions.

Obr. 4 Titulní stránka Trolandova článku z roku 1917. Termín „foton“ se objevuje na začátku předposledního řádku.

zářivé energie obsahovala diskuzi o „světelných atomech“ nebo „moderní nauce o světle“, ke které Troland jako autor kapitoly zaujímal kladný postoj [36]. V letech 1922–23 byl prezidentem Optical Society of America. Také měl jisté školení v biochemii a roku 1916 navrhl jednu z prvních teorií chemického původu života na Zemi [37].

Troland studoval psychologii na Harvardově univerzitě, kde získal doktorát roku 1915 na základě práce o vizuální adaptaci – tématu, kterému se věnoval i později. Jeho hlavním dílem byla rozsáhlá kniha *Principy psychofyziologie*, která vyšla ve třech svazcích v letech 1929–32. Velmi jej zajímala fotometrie světla dopadajícího do lidského oka a v tomto kontextu navrhl termín „foton“.

Ve článku z 29. března 1916 (obr. 4) o intenzitě světla stimulujícího oko, zavedl Troland „foton“ jako jednotku intenzity fyziologického stimulu s touto definicí: „Foton je taková intenzita osvětlení oční retiny při přímém pohledu, s adekvátním zaostřením na malý objekt, jehož fotometrický jas ... je jedna kandela na metr čtvereční, při efektivní ploše pupily jeden milimetr čtvereční. Fyziologická intenzita vizuálního stimulu je pak intenzita vyjádřená ve fotonech. Foton je jednotka osvětlení, a proto má absolutní velikost v kandelách na metr čtvereční. Numerická hodnota fotonu ... bude pochopitelně subjektem jistých odchylek od jedinci k jedinci“ [38].

Troland poprvé navrhl foton při vystoupení na 10. výročním setkání *Illuminating Engineering Society* ve Filadelfii 18.–20. září 1916. „Shledal jsem velmi výhodným“, řekl, „vyjádřit všechny vyhodnocované intenzity v jednotkách retinálního osvětlení, které jsem nazval foton“ [39]. V následné diskuzi zmínil jako výhodu nové jednotky, že „jednotka foton nevyžaduje příliš matematiky a já jsem byl primárně veden snahou pomoci psychologům, z nichž mnozí studují vidění jen tak mimochodem“.

V pozdější monografii o vidění, vydané Národní vědeckou radou, Troland propagoval svůj výzkum a podporil použití nové jednotky [40]. Přestože on a několik dalších autorů používali „foton“ po určitou dobu,

jednotka se nikdy nedočkala širokého využití a zřejmě uprostřed 20. let upadla v zapomnění. Nicméně dala základ pozdější jednotce „troland“ (Td), která souvisí s jednotkou kandela následujícím vztahem

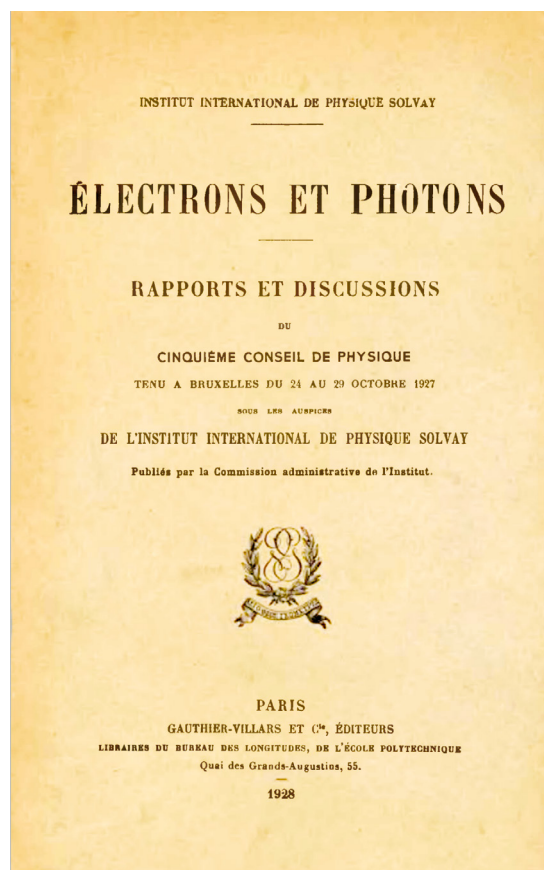
$$1 \text{ Td} = 1 \text{ cd/m}^2 \times 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ cd}.$$

Jednotka Td se stále používá ve fyziologické optice [41]. Troland věděl o fyzikálních diskuzích týkajících se hypotézy světelných kvant, ale pro něj foton byl pojmem patřícím do jiné domény.

A ještě jeden počátek „fotonu“

Troland nebyl jediným vědcem, který navrhl jméno „foton“ před Lewisem. Je pozoruhodné, že i druhé objevení fotonu souvisí s vědou o vidění, tentokrát s pokusem o vysvětlení barevného vidění.

Irský fyzik *John Joly* (1857–1933), profesor geologie a mineralogie na Trinity College v Dublinu, byl podobně jako Troland všestranným vědcem [42]. Nejvíce je znám pravděpodobně díky své práci z roku 1899, v níž odhadl, že stáří Země je nejméně 100 milionů let – mnohem více, než tvrdil lord Kelvin na základě termodynamických výpočtů [43]. Zatímco odhad z roku 1899 byl založen na geologických poznatcích, později využil metod radioaktivity, hned jak se objevily. Roku 1903 poukázal na význam radioaktivity jako zdroje zemského tepla. Joly nejen vykonal významnou práci v radioaktivitě (zahrnující i spolupráci s Ernstem Rutherfordem), ale také vyvinul metodu léčby rakoviny pomocí radia a obecně měl trvalý zájem o medicínu a fyziologii. Kolem roku 1920 obrátil svou pozornost k teorii vidění a zejména barevného vidění. Výsledkem byla teorie, kterou nazval „kvantová teorie vidění“ a která měla vysvětlit vnímání světla podle vzoru fotoelektrického jevu [44].



Titulní stránka sborníku páté Solvayovy konference.

„Zatímco mnoho fyzikálních termínů lze vystopovat hluboko do minulosti, „foton“ je neologismus stvořený až ve 20. století.“



Účastníci pamětné páté Solvayovy konference v Bruselu 1927: zleva doprava, zadní řada: A. Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, E. Herten, T. de Donder, E. Schrödinger, E. Vershaefelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R. H. Fowler, L. Brillouin; prostřední řada: P. Debye, M. Knudsen, W. L. Bragg, H. A. Kramers, P. A. M. Dirac, A. H. Compton, L. V. de Broglie, M. Born, N. Bohr; přední řada: I. Langmuir, M. Planck, madame Curie, H. A. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, C. E. Guye, C. T. R. Wilson, O. W. Richardson.

Podle názoru Jolyho, světlo ve formě „světelných kvant“ aktivuje elektrony ve zrakových vlákních. V závislosti na jejich kinetické energii tyto fotoelektrony mohou vybit jednu nebo více jednotek energie do kůry mozkové a způsobit tak vjem světla. To, co nazval fotonem, byla jednotka světelného stimulu či vjemu: „Jednotkový světelný stimul vybitý jedním zračným vláknem ... se nesmí plést s kvantem, které hraje roli pouhého prstu na spoušti. Toto malé kvantum energie vybité do mozkové kůry vyvolává naši jednotku světelného vjemu ... navrhuji jej označit jako foton [photon], používá anglický plurál fotony [photons]. Jako symbol budiž použito písmeno Φ ... Každý vjem je doprovodným jevem příslušné formy energetického stimulu, tedy dvou, tří nebo čtyř fotonů současně vybitých“ [45].

Například modrý vizuální vjem vznikl, když byly vybity 4Φ , červený odpovídal 2Φ a žlutý $2\Phi + 3\Phi$. Tvzení, že bílá barva je způsobena devíti fotony, vysvětloval doplňkovost žluté a modré barvy rovnicí $(2\Phi + 3\Phi) + 4\Phi = 9\Phi$. Ačkoliv popisoval svá světelná kvanta jako balíčky zářivé energie $h\nu$, nedal je do vztahu s Einsteinovou teorií. Rozhodně však jeho fotony byly dosti odlišné od kvant produkujících fotoelektrony. Jolyho fotony zaznamenaly ještě menší ohlas než ty Trolandovy. Když pak byl termín oživen a přijat o pár let později, nikdo si nevzpomněl na jméno irského fyzika ani amerického psychologa.

Závěr

Zatímco mnoho fyzikálních termínů lze vystopovat hluboko do minulosti, „foton“ je neologismus stvořený až ve 20. století. Je zvykem tento pojem spojo-

vat s Einsteinovou hypotézou světelného kvanta, ale foton byl původně použit v jiném smyslu. Prvně byl tento termín navržen roku 1916 a pak nezávisle o pět let později, v obou případech jako jednotka související s osvětlením oka a výsledným vjemem světla. V letech 1925–26 se termín objevil ve francouzské vědecké literatuře, nejprve ve fyziologickém kontextu a poté v kontextu fyzikální optiky. Na podzim 1926 pak termín znovu objevil G. N. Lewis, patrně bez vědomosti o předchůdcích, a použil jej pro entitu, kterou nazýval „jistý druh atomu“. Ačkoliv tento pátý „foton“ byl také dosti odlišný od Einsteinova světelného kvanta, tak se Lewisův pojem (ale ne jeho koncepce) ujal. Díky tomu, že se objevil ve správnou dobu, byl přijat jako náhrada staršího označení.

Poděkování

Jsem zavázán Christophu Blondelovi za upozornění na rané použití „fotonu“ ve francouzské vědecké literatuře (kapitola 4). Oliver Darrigol mě laskavě poskytl informace týkající se F. Wolferse.

Literatura

- [1] R. Kidd, J. Ardini, A. Anton: „Evolution of the modern photon“, *Am. J. Phys.* 57, 27 (1989).
- [2] A. Pais: „Subtle is the Lord...“: *The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford University Press, Oxford 1982.
- [3] R. H. Stuewer: „Einstein’s revolutionary light-quantum hypothesis“, *Acta Physica Polonica B* 37, 543 (2006).
- [4] R. H. Stuewer: *The Compton Effect: Turning Point in Physics*. Science History Publications, New York 1975.
- [5] E. S. Lewis: *A Biography of Distinguished Scientist Gilbert Newton Lewis*. Edwin Mellen Press, New York 1998.

- [6] P. Coffey: *Cathedrals of Science: The Personalities and Rivalries that Made Modern Chemistry*. Oxford University Press, Oxford 2008.
- [7] A. N. Stranges: *Electrons and Valence: Development of the Theory, 1900–1925*. Texas A&M University Press, College Station 1982.
- [8] G. N. Lewis: „The nature of light“, *Proceedings of the National Academy of Science* **12**, 22 (1926).
- [9] R. H. Stuewer: „G. N. Lewis on detailed balancing, the symmetry of time, and the nature of light“, *Historical Studies in the Physical Sciences* **6**, 469 (1975).
- [10] G. N. Lewis: „The conservation of photons“, *Nature* **118**, 874 (1926).
- [11] J. Dalton: *A New System of Chemical Philosophy*. R. Bickerstaff, Manchester 1808.
- [12] J. Mehra, H. Rechenberg: *The Historical Development of Quantum Mechanics*. Vol. 6. Springer, New York 2000.
- [13] C. T. Walker, G. A. Slack: „Who named the –ON’s?“, *Am. J. Phys.* **38**, 1380 (1970).
- [14] M. Jammer: *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. McGraw-Hill, New York 1966.
- [15] W. Band, William: „Prof. Lewis’ ‘light corpuscles’“, *Nature* **120**, 405 (1927).
- [16] V. Henri, R. Wurmser: „Action des rayons ultraviolets sur l’eau oxygénée“, *Comptes Rendus* **157**, 126 (1913).
- [17] M. N. Berberan-Santos: „Pioneering contributions of Jean and Francis Perrin to molecular luminescence“, in: *New Trends in Fluorescence Spectroscopy: Applications to Chemical and Life Sciences*. Ed. B. Valeur, J.-C. Brochon. Springer, Berlin 2001.
- [18] R. Wurmser: „La rendement énergétique de la photosynthèse chlorophyllienne“, *Annales de Physiologie et de Physicochimie Biologique* **1**, 47 (1925).
- [19] R. Wurmser: „Sur l’activité des diverses radiations dans la photosynthèse“, *Comptes Rendus* **181**, 374 (1925).
- [20] R. Wurmser: „Letter to the editor“, *Photosynthesis Research* **13**, 91 (1987).
- [21] F. Wolfers: *Transmutation des Éléments*. Éditions Scientifiques, Paris 1929.
- [22] E. Friedel, F. Wolfers: „Les variations de longueur d’onde des rayons X par diffusions et la loi de Bragg“, *Comptes Rendus* **178**, 199 (1924).
- [23] R. H. Stuewer: *The Compton Effect: Turning Point in Physics*. Science History Publications, New York 1975.
- [24] F. Wolfers: „Sur un nouveau phénomène en optique; interférence par diffusion“, *J. de Physique* **6**, 354 (1925).
- [25] F. Wolfers: „Interférence par diffusion“, *Comptes Rendus* **179**, 262 (1924).
- [26] L. de Broglie: „Recherche sur la théorie des quanta“, *Annales de Physique* **3**, 22 (1925).
- [27] G. Bacciagaluppi, A. Valentini: *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference*. Cambridge University Press, Cambridge 2009.
- [28] A. H. Compton: „Discordances entre l’expérience et la théorie électromagnétique du rayonnement“, in: *Électrons et Photons. Rapports et Discussions de Cinquième Conseil de Physique*. Ed. Institut International de Physique Solvay. Gauthier-Villars, Paris 1928.
- [29] A. H. Compton: „Some experimental difficulties with the electromagnetic theory of radiation“, *Journal of the Franklin Institute* **205**, 155 (1928).
- [30] A. H. Compton: „X-rays as a branch of optics“, *J. Opt. Soc. Am. and Rev. Sci. Instruments* **16**, 71 (1928).
- [31] A. H. Compton: „What things are made of“, *Scientific American* **140**, 110–113, 234–236 (1929).
- [32] G. Birtwistle: *The New Quantum Mechanics*. Cambridge University Press, Cambridge 1928.
- [33] A. E. Haas: *Materiewellen und Quantenmechanik*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1928.
- [34] H. Weyl: *The Theory of Groups and Quantum Mechanics*. Dover Publications, New York 1931.
- [35] P. A. M. Dirac: *The Principles of Quantum Mechanics*. Oxford University Press, Oxford 1930.
- [36] D. F. Comstock, L. T. Troland: *The Nature of Matter and Electricity: An Outline of Modern Views*. Van Nostrand Co., New York 1917.
- [37] L. T. Troland: „The chemical origin and regulation of life“, *The Monist* **24**, 92 (1916).
- [38] L. T. Troland: „On the measurement of visual stimulation intensities“, *Journal of Experimental Psychology* **2**, 1 (1917).
- [39] L. T. Troland: „Apparent brightness; its conditions and properties“, *Transactions of the Illuminating Engineering Society* **11**, 947 (1916).
- [40] L. T. Troland: „The present status of visual science“, *Bulletin of the National Research Council* **5**, Part 2: 1–120 (1922).
- [41] P. G. J. Barten: *Contrast Sensitivity of the Human Eye and its Effects on Image Quality*. International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington 1999.
- [42] J. R. Nudds: „The life and work of John Joly (1857–1933)“, *Irish J. Earth Sci.* **8**, 81 (1986).
- [43] J. D. Burchfield: *Lord Kelvin and the Age of the Earth*. University of Chicago Press, Chicago 1990.
- [44] J. Joly: „A quantum theory of vision“, *Philosophical Magazine* **41**, 289 (1921).
- [45] J. Joly: „A quantum theory of colour vision“, *Proceedings of the Royal Society B* **92**, 219 (1921).

Dovětek překladatele

A jak to bylo s přijetím „fotonu“ v Československu? Zdá se, že jisté zpoždění proti vědecky nejvyspělejším zemím tu bylo, jak bychom mohli očekávat. Rychlý průzkum v rámci skvělé virtuální knihovny dml.cz ukazuje výskyt termínu „foton“ až během 30. let 20. století. Krásnou ukázkou „předfotonového“ vyjadřování nalézáme třeba v popisu Ramanova rozptylu Václavem Posejpalem začátkem roku 1929 (pouhých pár měsíců po publikaci objevu): „*Molekula, která proměňuje na ni dopadší kvantum primárního paprsku v paprsek difusně odchýlený, absorbuje při tomto ději ... obnos energie rovný kvantu některé její ultračervené absorpční frekvence.*“ [Čas. přest. math. fys. **58**, 319 (1929)]. Ano, s pojmem „kvantum paprsku“ se lze setkat často. V přednášce na začátku roku 1932 už ovšem Posejpal používá „foton“ zcela běžně [Čas. přest. math. fys. **61**, 259 (1932)]. Později, např. roku 1933, najdeme v Novákové Mozai-ce jednou foton s vysvětlením pojmu „*foton (nejmenší množství zářivé energie)*“ [Čas. přest. math. fys. **62**, R25 (1933)] a roku 1934 v Santholzerových zprávách je pojem několikrát a už bez vysvětlení [Čas. přest. math. fys. **63**, 319 (1934)].

Dokladem toho, že někteří badatelé „mají problém“ s pojmem foton dodnes, může být zajímavý článek nositele Nobelovy ceny za fyziku Willise E. Lamba jr. (1913–2008), příznačně nazvaný „Anti-photon“. Dovolte mi přeložit alespoň kousek abstraktu: „*Jak je patrné z názvu tohoto článku, jeho autorovi se nelíbí používání termínu foton, které se datuje od roku 1926. Podle jeho názoru neexistuje taková věc jako foton. Pouze komedie chyb a historických náhod vedla k jeho popularitě mezi fyziky a optickými vědci. Uznávám, že slovo je krátké a příhodné. Jeho používání je také návykové. ... podobné námitky jsou možné proti používání slova „fonon“, které se datuje do roku 1932 ...*“ [W. E. Lamb: *Appl. Phys. B* **60**, 77 (1995)]. Článek rozhodně doporučuji k přečtení a zamyšlení. (jv)

» Dokladem toho, že někteří badatelé „mají problém“ s pojmem foton dodnes, může být zajímavý článek W. E. Lamba jr. nazvaný „Anti-photon“.

